

---

## 原 著 論 文

---

### 口腔癌頸部転移リンパ節の検出に対する超音波三次元イメージングの有用性

高橋 章, 菅原千恵子\*, 前田 直樹\*, 細木 秀彦

キーワード: 頭頸部悪性腫瘍, 頸部, リンパ節, 超音波, 画像診断

### The Utility of Three Dimensional Ultrasonographic Imaging for Detecting the Cervical Lymph Node Metastasis with Oral Cancer

Akira TAKAHASHI, Chieko SUGAWARA-TAKAHASHI\*, Naoki MAEDA\*, Hidehiko HOSOKI

**Abstract :** Three dimensional ultrasonographic imaging was performed for the cervical lymphadenopathy. Forty lymph nodes with suspicion of metastatic lymphadenopathy out of 20 patients with oral cancers were served for the present study. We could not judge the presence/absence of the metastasis by routine B mode or power Doppler imaging alone. Out of the 40 lymph nodes, 18 metastatic lymphadenopathies were proved histopathologically. Additionally, 11 lymph nodes out of 8 patients with nonspecific reactive lymphadenopathies were included as the control.

The pattern of the circumferential blood flow of the lymph nodes was reviewed by the three-dimensional maximum intensity projection (3D MIP) view that was obtained from 3D power Doppler imaging. They were divided into 4 categories; linear blood flow, mesh like blood flow, spotty blood flow and no circumferential flow. The spotty flow was almost exclusively found in the metastatic lymph nodes. Its accuracy, sensitivity and specificity, positive predictive value and negative predictive value for detecting metastatic lymphadenopathy were 0.73, 0.44, 0.95, 0.89, and 0.68, respectively. This spotty flow was situated at the marginal portion and/or around the lymph nodes by the analysis of the two-dimensional display. We could not differentiate whether it was arterial or venous flow.

As the three dimensional sonographic imaging is the time-consuming technique compared to the routine B mode or power Doppler imaging, we cannot routinely perform it. However, it would play a supplementary role for detecting lymph node metastasis, especially if we cannot judge them by the two dimensional imaging alone.

## 緒 言

口腔癌治療の発展にはめざましいものがあり、生存率は徐々に改善傾向にある。病変の制御および生存率を左右する因子の一つに所属リンパ節転移の有無が挙げられる。所属リンパ節転移がみられた場合には、総じて5年生存率が半減すると言われているが、リンパ節転移の早期検出は生存率の改善ならびに Quality of Life 向上に必須である<sup>1)</sup>。所属リンパ節転移の検出は画像診断が主力であり、頸部リンパ節に対してはCT (computed tomography), MRI (magnetic resonance imaging), PET (positron emission tomography) あるいはPET/CT, 超音波画像検査などが用いられている。CTではリンパ節のサイズや経静脈造影によるリンパ節の血流分布による評価, MRIではリンパ節の信号強度や経静脈造影による血流の評価, PETあるいはPET/CTでは腫瘍細胞の糖代謝を利用した同位元素の集積をもとにした評価, 超音波画像検査では音響インピーダンスの違いに基づいたリンパ節内部構造の評価やドプラ法による血流の評価が行われている。これらは検査法ごとに特徴があり、単独ではなく組み合わせて転移評価が行われることが多い。

超音波画像検査は近年の技術革新の恩恵を受けて画質の改善が著しく、対象とするリンパ節の内部構造を詳

細に観察することが可能になってきており、所属リンパ節転移判定における重要な検査法の一つとして確立している。また表示法にも改良が加えられている。その一つに三次元イメージングがあり、Bモードのみならず、ドプラ表示による血流の三次元的な表示も可能になっている。本稿では、口腔癌の頸部リンパ節転移判定に際して、超音波三次元イメージングによる頸部リンパ節血流検査の有用性を検討した。

## 超音波画像三次元イメージングについて

本学歯科放射線科に設置の超音波診断装置SONOLINE™ Elegra (Siemens, Erlangen, Germany)には三次元イメージング機能が付属している。これは、検査者が手動でプローブをスライス方向に平行移動させながらスキャンすることにより順次データ収集し、これをもとに三次元表示を行うものである(図1)。この機能は特別な位置センサが不要で、装置本体のみで全ての操作が可能である。スキャンはBモードとパワードプラ法とを合成表示させながらのスキャンが可能であり、スキャン終了とともに、撮像領域の三次元最大輝度投影法(3D-Maximum intensity projection, 3D MIP)による画像が表示される。またスライス方向、走査方向、距離方向<sup>2)</sup>の3断

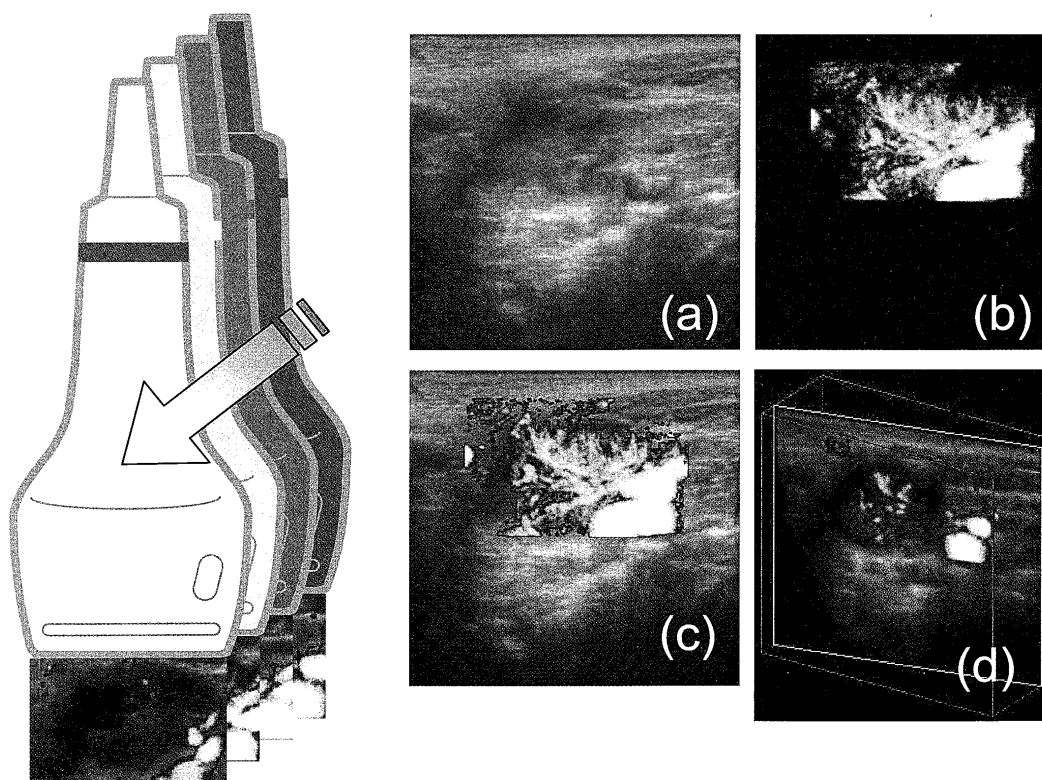


図1 超音波三次元表示法の概念

左：Bモードとパワードプラ合成表示の状態、プローブをスライス方向(矢印)に平行にスキャンさせながらデータ収集を行う

(a)～(d) 三次元表示の例 (a) 3D MIP Bモード三次元表示

(b) 3D MIP パワードプラ表示 (c) 3D MIP Bモード・パワードプラ合成表示 (d) MPR表示

面表示や任意の方向の多断面再構成表示（Multiplanar reconstruction, MPR）も可能である。これらそれぞれに対して、Bモード単独，パワードプラ単独，Bモード・パワードプラ合成表示を選択可能である。検査手順としては，まず対象付近のプレスキャンを実施し，画像収集に必要な領域を把握する。次いでスキャンを開始し，画像を収集する。スキャン終了直後に表示される低解像度のMPRおよびMIP画像に問題がなければ高分解能画像処理を行う。画像処理時間は，スキャン長に依存するものの，10秒程度である。高分解能画像でMIP画像を3軸で回転させながら観察を行うことができる。また，収集したデータはボリュームデータとして保存でき，後日に回転操作などを含む再観察が可能である。本法によれば，スキャン開始から三次元表示画像の評価まで，1部位当たり1分程度で実施可能である。

### 対象と方法

対象は，口腔扁平上皮癌のリンパ節転移検索を目的に頸部リンパ節の超音波画像検査を実施した患者のうち，Bモードあるいはパワードプラ画像にて転移が疑われたが確実と判定できなかった20名（男性12名，女性8名）における40リンパ節である。これらに対して，通常の二次元的な画像表示を行った後に，三次元イメージングを

実施した。リンパ節転移の最終診断は，頸部郭清術後の病理組織学的診断，ないしは最短6カ月の経過観察による転移所見否定によった。また対照として，頸部の非特異性リンパ節腫大8名（男性4名，女性4名）の11リンパ節に対しても併せて超音波三次元イメージングを実施した。

対象とした合計51個のリンパ節の部位別内訳は，オトガイ下6，顎下22，上内深頸14，中内深頸2，下内深頸2，副神経リンパ節1，耳下腺体内リンパ節2，頰リンパ節2であった。

使用した装置はシーメンス社製のSONOLINE™ Elegra（Siemens, Erlangen, Germany）で，口径40 mmのリニアプローブを利用し，付属の三次元表示機能を利用した。Bモードのスキャン条件は送受信7.5 MHz，深度4 cmとした。パワードプラのスキャン条件は中心周波数5.5 MHz，パルス繰り返し周波数PRFは1102 Hzとした。パワードプラを表示する関心領域は，対象となるリンパ節およびその周辺で，可及的に小さく設定した。

#### 1. 3D MIPによるリンパ節血流パターンの評価

これらリンパ節から得られたパワードプラの3D MIP画像の特徴を放射線診断医2名の合議により視覚的に評価し，リンパ節辺縁部の血流に注目して以下の4つの血流パターンに分類した（図2）。（1）線状：線状の血流

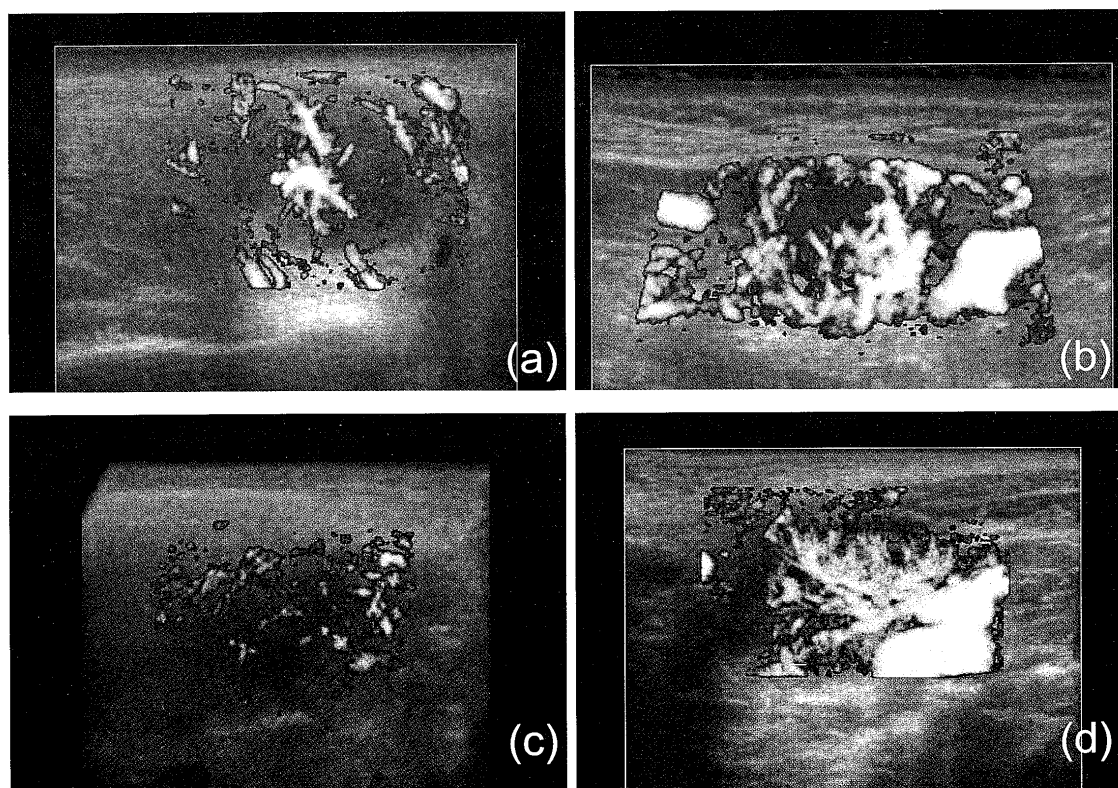


図2 3D MIP表示におけるリンパ節辺縁部の血流

(a) 線状：線状の血流を優勢に観察する (b) 網状：線状の血流が多数走行し，網状あるいは籠状に観察される (c) 点状：点状の血流を辺縁部に優勢に観察する (d) 周囲血流なし：辺縁部に血流を観察しない。この図では，リンパ節内部に樹枝状の血流を観察するが，辺縁部には血流を認めない

をリンパ節辺縁部に観察するもの。(2) 網状：線状の血流が辺縁部に多数錯綜して走行し、籠状あるは網状に観察されるもの。(3) 点状の血流を辺縁部に観察するもの。(4) 辺縁部血流を観察しないもの。これらの判定には、リンパ節内部血流の多寡は評価しなかった。

## 2. 血流の位置判定

パワードプラ3D MIP表示にて一部でも点状の血流が観察されたリンパ節に対して、その血流がリンパ節のどの部位を走行しているかに対して評価を加えた。超音波三次イメージングの表示データを構成する二次元画像(Bモードとパワードプラの合成表示画像)を装置モニターで逐次表示し、各画像で観察される点状血流の数を位置別に算定した。三次元的に線状に分布している血流は算定から除外した。リンパ節はBモード画像上で周囲の構造よりも低エコーとして描出され、日本超音波医学会の基準<sup>3)</sup>に基づき、このエコーレベルが大きく変化する部位を境界、それよりもリンパ節側を内部、外部を周辺と定義し、上記の点状血流位置がどの部位に属しているかを個々の血流に対して判定した。なお、点状の血流は画像上ではある程度の面積を有しており、その一部でも境界に接している場合には境界に存在すると判定した(図3)。

## 3. パルスドプラによる血流評価

3D MIP表示にて点状血流を示していたリンパ節に対して、パルスドプラによる観察を試みた。対象となるリンパ節の境界あるいは辺縁部での血流を観察し、その血流の波形を採取した。観察時のサンプリングボリュームは装置で設定出来る最小の2×3mmの領域とした。

## 結 果

### 1. リンパ節血流パターンの評価

対象とした40リンパ節のうち18リンパ節に転移が確認された。うち3リンパ節は腫瘍の節外浸潤を伴っていた。22リンパ節には転移は認められなかった。リンパ節

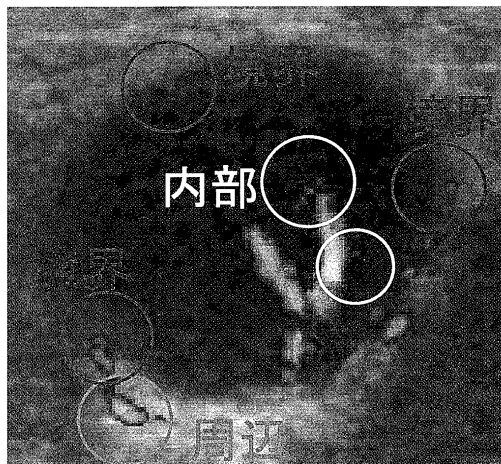


図3 リンパ節における、内部・境界・周囲の分類

ごとの三次元MIP表示による血流は、線状20、網状9、点状9、周囲血流なし2であった(表1)。血流パターンごとのリンパ節転移の頻度は、線状5(25%)、網状4(44%)、点状8(89%)、周囲血流なし1(50%)であり、点状血流が優勢な例ではリンパ節転移の頻度が高く観察された。節外浸潤を伴う3個は全て点状パターンに属していた。非特異性炎においては、リンパ節血流は線状5、網状3、周囲血流なし3で、点状血流が優勢と判断されたものはなかった。扁平上皮癌に伴う40リンパ節に対して、この点状血流の有無とリンパ節転移との関係は表1から、正診率0.73、陽性的中率0.89、陰性的中率0.68、感度0.44、特異度0.95であり、極めて特異度が高かった。

### 2. 点状血流の位置

3D MIP表示で点状血流が一部でも観察されたものは、点状血流が優勢であった9リンパ節、および線状血流が優勢であったもののうち2リンパ節であった。これらにおいて、点状の血流と観察された数は、1リンパ節当たり18から245個、平均73個であった。リンパ節ごとに、点状血流がリンパ節の内部、境界、周辺のいずれに存在しているかの分布を図4に示す。転移リンパ節10節では点状血流の56~94%(平均77%)が境界あるいは周辺に存在していた。また境界の血流は36~89%(平均58%)に分布しており、7リンパ節では50%以上が境界に偏在していた。節外浸潤は3個、転移なしは1個のみであり、これらの間で、血流分布のリンパ節内偏在に関する統計学的有意性を調べるには到らなかった。

表1 リンパ節周囲の血流とリンパ節転移

診 断		3D MIP でのリンパ節周囲血流				
		線状	網状	点状	なし	計
扁平上皮癌	転移あり	5	4	8	1	18
	転移なし	15	5	1	1	22
非特異性炎		5	3	0	3	11
計		25	12	9	4	51

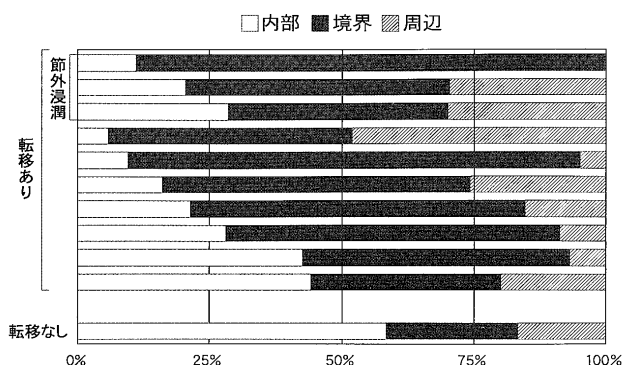


図4 点状血流が一部でも観察された11リンパ節における、二次元表示画像でのリンパ節内の点状血流の分布

### 3. 点状血流に対するパルスドプラによる評価

3D MIP 表示にて点状血流が優勢であった9リンパ節に対してパルスドプラによる血流の評価を試みた。しかしながら、点状血流は非常に小さい領域であり、パルス波形を採取するためにプローブを数秒間安定して固定させることは困難であった。そのため、リンパ節の境界あるいは周辺の血流に対してドプラ波形を採取出来たものは4リンパ節のみであった。

波形から拍動性血流の有無を視覚的に判定したところ、規則的な拍動を有する動脈性血流と判定されたものは2リンパ節、定常波で静脈性と判定されたものは2リンパ節であり、血流の状況に傾向は見いだされなかった。

## 考 察

超音波検査法はBモード、すなわち対象における音響インピーダンスの違いを二次元的にグレイスケールで表示する方法を基本としており、リンパ節の診断に対してはサイズや内部構造による評価が行われている。超音波画像ではリンパ節内は、門部に相当するhilus (central echogenic component<sup>4)</sup>)と、髄質および皮質に相当する間質parenchymaとが表現される。

疾患ごとに内部構造の変化には特徴があり、扁平上皮癌の所属リンパ節転移では、髄洞部への転移に伴って生じる液性壊死による間質エコーレベルの低下、角化壊死による間質エコーレベルの上昇、転移巣の増大に伴うhilusの圧排や消失、節外浸潤に伴うリンパ節輪郭の不明瞭化などが所見として挙げられる<sup>5)</sup>。Bモードの他に、ドプラ効果を利用して生体内で動きの大きな現象である血流を捉える方法がある。代表的なものにカラードプラ法とパワードプラ法があるが、このうち、パワードプラ法は血流の方向を表示することはできないものの、感度が良く、不随意運動などに起因するランダムノイズの影響を受けにくい<sup>6)</sup>ため、血流が比較的乏しく、流速が遅いリンパ節の観察に適している。この血流状況からリンパ節の病態を把握することが補助的な診断法として用いられている。

正常リンパ節のパワードプラ画像では、hilusに流入する血流、および間質の一部での血流が表示される程度である。非特異性リンパ節炎においては、これに加えて間質の血流が亢進するためにhilusから樹枝状に分布する血流が観察される。扁平上皮癌の転移リンパ節における一般的なパワードプラ所見としては、転移部位に一致した間質部血流の欠損、hilus以外の部位からリンパ節を貫通する拍動性血流の存在、皮質の血流亢進<sup>7-10)</sup>などが挙げられ、実験レベルでも確認されている<sup>11)</sup>。

これらはリンパ節転移診断に有効であるとする意見がある一方で、診断への寄与を疑問視する意見もみられる。これは、リンパ節が楕円球状の形状を有しており、hilus以外の部位から流入する異常血流を把握するには三次

元的な情報収集が必要であるにもかかわらず、パワードプラ法で血流が拍動性であるかどうかの判定にはBモード画像での検索よりも時間を要し、かつ三次元的に判定する場合には大幅な検査時間増加をきたすために、ルーチンでの利用に関しては時間対効果が疑問視されていることによる<sup>12)</sup>。

超音波画像診断装置の進歩は著しく、1990年代後半以降に装置のデジタル化が一般化するにつれてソフトウェアの充実も進んでいる。三次元イメージングもその一つである。以前はプローブに磁気あるいは機械式センサを装着して、画像データとプローブの位置データを収集し、ワークステーションにデータ転送した上で三次元解析が行われていた。近年は画像認識技術の進歩によりこれらのセンサを利用せずに、手でプローブをスライス方向に移動して画像を順次取得し、画像間で類似したピクセル値をソフトウェアにて検出して三次元的に連続した画像情報を表現可能になっている<sup>13)</sup>。これらは産科領域での三次元表示に代表されるようにルーチンに利用されるようになってきている。また血流の三次元イメージングも同様に検討されてきており、小児脳血管、循環器系、肝などの腹部臓器に応用されている。これらにより、複雑な脈管の位置関係を立体的に描出する、病変内外の血流把握が二次元表示よりも容易である、血栓や塞栓などによる脈管の狭窄や閉塞の検出が期待できる、患者へのインフォームドコンセントに有用であるという意見がある<sup>14)</sup>。

頸部領域の三次元イメージングについても、唾液腺腫瘍や甲状腺疾患における血流表示が試みられてきている。頸部リンパ節に対しても炎症性腫大における内部血流の増大<sup>14)</sup>の報告がある。しかし転移リンパ節に対する三次元イメージングについての検討は少なく、内部血流の評価に関して二次元表示の場合と大差ないという報告<sup>15)</sup>がみられる程度である。

本学では、口腔癌の所属リンパ節転移に対する画像検索は、経静脈造影下でのCTと超音波画像検査を主軸として相補的に利用している。超音波画像検査は、画像で検出できたすべての頸部リンパ節に対してBモードおよびパワードプラ画像を表示しながら転移の可能性を即時に判定している。対象となるリンパ節は患者によって異なるが、おおむね10個～30個程度である。

今回試みた、頸部リンパ節血流の三次元イメージングは、1部位あたり1分程度の処理時間を要するために、検査時間の制約から、すべてのリンパ節を対象とすることはできず、ルーチンに利用しているBモードあるいはパワードプラ画像にて転移の有無が判定困難であったリンパ節に対して実施した。

三次元イメージングにて、リンパ節の境界あるいは周辺の点状血流は転移リンパ節で特異的に観察された。このことから三次元イメージングは、ルーチンでの画像表示で判定に迷った際の補助的な判定法として有用と期待

される。超音波画像による頸部リンパ節転移の正診率は85~90%程度であるが<sup>16, 17)</sup>、三次元イメージングの適切な利用により、さらに正診率が向上する可能性がある。

この点状の血流が表示される成因については、三次元イメージングの画像収集方法を考慮する必要がある。三次元イメージングでは手動でプローブを移動させながら順次画像を収集している。移動速度は計測していないものの、1 cm/秒程度までのゆっくりとした速度である。すなわち、血流が表示されたスキャンと、これに隣接するスキャンでは収集時刻が異なっている。この隣接するスキャン面でも血流が捉えられたときは三次元的に線状の血流として表示され、血流が捉えられなかったときには他と連続しない点状の血流として表示される。この原因としては、(1) 動脈性の血流であり、拍動で流速が速い時のみパワードブラで表示された、(2) パワードブラ検出下限近くの低速な血流であり、加えて血管が蛇行していることによりプローブに対する相対速度低下が生じてドブラ偏位周波数が検出限界以下になり、血流が検出された部位と検出されない部位があった、の2者が考えられた。

今回の検討では、これを明らかにすべく、点状血流が見られる部位に対してドブラ波形採取を試みた。しかしながらこの血流は、リンパ節の他部位と比較しても微弱で2D画像のみで検出困難であること、ならびに領域が小さいために波形採取に要する数秒から10秒程度の間、サンプリングゲート領域内に安定して保持することが極めて困難であったために、ドブラ波形による検討は成功せず、血流が動脈性であるかどうかの判定はできなかった。

過去に、頸部リンパ節に対してドブラ波形解析を試みた報告はいくつかあるが<sup>18, 19)</sup>、これらはリンパ節内で最も目立つ血流を対象としており、本研究の対象となるようなごく小さな血流は対象になっていなかった。近年、三次元イメージング装置のスキャン方法として、プローブを手動でスキャンする方法にかえて、プローブそのものは皮膚面に固定しつつ、プローブ内部に配列された探触子を往復させることにより、ほぼリアルタイムの高いフレームレートで三次元情報を取得する技術が開発され産科領域などに応用され始められている<sup>20)</sup>。またこれに加えてBモードで動きを把握する手法を応用することにより、血流の三次元表示を高いフレームレートで表示する方法も報告されている<sup>21)</sup>。これは高速な血流を対象としており、本研究で扱ったような遅い血流に対する有効性は未知ではあるが、この技法がうまく利用できるのであれば、点状血流が実際に拍動を伴っているかどうか判定可能で、上記の血流についての検討をすすめられることが期待できる。

線状あるいは網状の血流は3D MIP表示からも明らかにようにリンパ節表面に沿った走行であり、リンパ節に流入する所見ではなかった。これは、新生血管と考え

るよりは、リンパ節周囲の炎症性変化などによる血流亢進を反映していると思われた。これに対して、点状血流の位置は、過半数がリンパ節の境界あるいは周囲に存在し、リンパ節に流入する血流と判明した。

正常なリンパ節において動静脈は必ずhilusから流入するとされており、それ以外で出入する血流は新生血管であり異常所見とされている<sup>4)</sup>。リンパ節転移は、輸入リンパ管を介して腫瘍細胞が流入し、皮質部分で腫瘍組織を形成する。初期段階ではもともと存在する血管、すなわちhilusからの血管から栄養を受けるが、次第にリンパ節外の周辺組織からの新生血管によって栄養されるようになる。結核性リンパ節炎でもhilus以外からの血流を観察するが、悪性腫瘍の所属リンパ節で、hilus以外からの血液供給を観察すれば第一に転移性リンパ節と考えるべきであるとされている<sup>4)</sup>。このhilus以外からの血液供給は、リンパ節表面のどの部位にも存在し得るため、最大断面や2方向のみでの観察では不十分となる可能性がある。そのため、リンパ節周囲血流の全貌を観察できる三次元イメージングによる新生血管の検出は、転移リンパ節の正確な診断と予後向上のために極めて有意義なものと考えられる。

## 結 語

1. 口腔癌の頸部リンパ節転移に対する診断能向上を目的として、通常のBモードおよびパワードブラ表示では転移判定が困難であったリンパ節に対して超音波三次元血流イメージングを実施した。
2. リンパ節辺縁部の血流は、線状、網状、点状に分類され、点状の血流は転移リンパ節において、特異的に観察された。今回の口腔癌例において、点状血流の有無とリンパ節転移との関係は、正診率0.73、陽性的中率0.89、陰性的中率0.68、感度0.44、特異度0.95であった。
3. 点状の血流はリンパ節の境界あるいは周囲に偏在していた。
4. 超音波三次元血流イメージングは、口腔癌の頸部リンパ節転移の検出には有効な補助的方法であると考えられた。

本論文の一部は、2000年、第41回日本歯科放射線学会学術大会および、2001年、第42回日本歯科放射線学会学術大会にて報告した。

## 文 献

- 1) 日本頭頸部腫瘍学会：頭頸部癌取扱い規約 改訂第3版。東京、金原出版、2001
- 2) 高橋 章、菅原千恵子、上村修三郎、春名芳郎：超音波用高周波積層プローブの空間分解能の評価。歯科放射線 42, 192-200 (2002)
- 3) 日本超音波医学会 用語診断基準委員会：医用超音波用語集。4版。東京、(社)日本超音波医学会、

2005

- 4) 白川崇子, 宮本幸夫, 菊地光治, 最上拓児, 成尾孝一郎, 三枝裕和, 小池正人, 中田典生, 入江健夫, 福田国彦, 多田信平: リンパ節. 臨床放射線 43, 1392-1395 (1998)
- 5) Ahuja AT and Ying M : Sonographic evaluation of cervical lymph nodes. *AJR Am J Roentgenol* 184, 1691-1699 (2005)
- 6) 雨宮慎一, 鈴木陽一: カラー Doppler 法とパワード Doppler 法. 臨床放射線 43, 1224-1229 (1998)
- 7) Ariji Y, Kimura Y, Hayashi N, Onitsuka T, Yonetsu K, Hayashi K, Ariji E, Kobayashi T and Nakamura T : Power Doppler sonography of cervical lymph nodes in patients with head and neck cancer. *AJNR Am J Neuroradiol* 19, 303-307 (1998)
- 8) Yonetsu K, Sumi M, Izumi M, Ohki M, Eida S and Nakamura T : Contribution of doppler sonography blood flow information to the diagnosis of metastatic cervical nodes in patients with head and neck cancer: assessment in relation to anatomic levels of the neck. *AJNR Am J Neuroradiol* 22, 163-169 (2001)
- 9) Ahuja A, Ying M, Yuen Y H and Metreweli C : Power Doppler sonography of cervical lymphadenopathy. *Clin Radiol* 56, 965-969 (2001)
- 10) Steinkamp HJ, Wissgott C, Rademaker J and Felix R : Current status of power Doppler and color Doppler sonography in the differential diagnosis of lymph node lesions. *Eur Radiol* 12, 1785-1793 (2002)
- 11) Chikui T, Yuasa K, Maemura S and Kanda S : Change of angiostructure and hemodynamics in lymph node metastases in rabbits. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 93, 350-357 (2002)
- 12) Ahuja A and Ying M : Sonographic evaluation of cervical lymphadenopathy: is power Doppler sonography routinely indicated? *Ultrasound Med Biol* 29, 353-359 (2003)
- 13) Keberle M, Jenett M and Hahn D : Clinical trial on the accuracy of a freehand and sensor-independent three-dimensional power Doppler ultrasound system measuring diameters, volumes and vascularity of malignant primaries of the neck. *Ultraschall Med* 22, 91-95 (2001)
- 14) 中田典生, 宮本幸夫, 山下三代子, 最上拓児, 並木 珠, 三井田和夫, 小池正人, 白川崇子, 入江健夫, 原田潤太, 福田国彦, 多田信平: 三次元表示の臨床応用. 臨床放射線 43, 1289-1293 (1998)
- 15) Ahuja A T and Ying M : Evaluation of cervical lymph node vascularity: a comparison of colour Doppler, power Doppler and 3-D power Doppler sonography. *Ultrasound Med Biol* 30, 1557-1564 (2004)
- 16) King AD, Tse GM, Ahuja AT, Yuen EH, Vlantis AC, To EW and van Hasselt AC : Necrosis in metastatic neck nodes: diagnostic accuracy of CT, MR imaging, and US. *Radiology* 230, 720-726 (2004)
- 17) Koischwitz D and Gritzmann N : Ultrasound of the neck. *Radiol Clin North Am* 38, 1029-1045 (2000)
- 18) Choi MY, Lee JW and Jang KJ : Distinction between benign and malignant causes of cervical, axillary, and inguinal lymphadenopathy: value of Doppler spectral waveform analysis. *AJR Am J Roentgenol* 165, 981-984 (1995)
- 19) Brnic Z and Hebrang A : Usefulness of Doppler waveform analysis in differential diagnosis of cervical lymphadenopathy. *Eur Radiol* 13, 175-180 (2003)
- 20) Goncalves LF, Espinoza J, Kusanovic JP, Lee W, Nien JK, Santolaya-Forgas J, Mari G, Treadwell MC and Romero R : Applications of 2-dimensional matrix array for 3- and 4-dimensional examination of the fetus: a pictorial essay. *J Ultrasound Med* 25, 745-755 (2006)
- 21) Volpe P, Campobasso G, Stanziano A, De Robertis V, Di Paolo S, Caruso G, Volpe N and Gentile M : Novel application of 4D sonography with B-flow imaging and spatio-temporal image correlation (STIC) in the assessment of the anatomy of pulmonary arteries in fetuses with pulmonary atresia and ventricular septal defect. *Ultrasound Obstet Gynecol* 28, 40-46 (2006)